

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТУК-153

Киркин А.М.¹, Курындин А.В.², Ляшко И.А.³, Строганов А.А.⁴

¹ Начальник лаборатории;

² кандидат технических наук, начальник отдела;

³ научный сотрудник;

⁴ кандидат физико-математических наук, заместитель начальника отдела,
Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ», Москва, Россия)

Транспортный упаковочный комплект (ТУК) ТУК-153 предназначен для транспортирования отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) реакторов типа ВВЭР-1000 Тяньваньской АЭС с повышенной глубиной выгорания (до 60 МВт·сут/кг U) и повышенным начальным обогащением по ^{235}U (до 4,925 %) с энергоблоков №1 и №2 Тяньваньской АЭС на Ядерный Топливный Комплекс Ланьчжоу (LNFC) для переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), а также для хранения (до 1 года) ОТВС в ТУК на специально оборудованных контейнерных площадках-хранилищах. Производство данных контейнеров осуществляется на базе ЗАО «Энерготекс».

В Российской Федерации основные требования ядерной и радиационной безопасности при транспортировании ОЯТ регламентируются «Правилами безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-04) [1], которые полностью согласуются с нормами МАГАТЭ [2]. В соответствии с требованиями [1], основным показателем ядерной безопасности ТУК, содержащего ядерные делящиеся материалы (ЯДМ) или изделия из них (далее – упаковка «ТУК + ЯДМ»), является

эффективный коэффициент размножения нейтронов ($K_{эфф}$), значение которого не должно превышать 0,95 в нормальных условиях транспортирования и при авариях. Основным показателем радиационной безопасности упаковки является максимальное значение мощности дозы за защитой упаковки «ТУК + ЯДМ». Требования [1] устанавливают следующие ограничения на максимальное значение мощности дозы за защитой упаковки «ТУК + ЯДМ»:

- при нормальных условиях:
 - 2 мЗв/ч на поверхности ТУК (10 мЗв/ч при транспортировании на правах исключительного использования);
 - 2 мЗв/ч на поверхности транспортного средства;
 - 0,1 мЗв/ч в двух метрах от поверхности транспортного средства;
- при авариях: 10 мЗв/ч в одном метре от поверхности транспортного средства.

Обоснование ядерной и радиационной безопасности упаковки «ТУК + ЯДМ» осуществляется, как правило, с использованием широко используемых и общепризнанных программных средств (ПС), большинство из которых, в частности MCU [3], MCNP [4], SCALE [5], реализуют метод Монте-Карло. При этом при создании расчетных моделей упаковки «ТУК + ЯДМ» для оценки значений нормируемых показателей как ядерной, так и радиационной безопасности должен быть принят консервативный подход, заключающийся в том, что все расчетные допущения (принятые значения параметров, влияющих на значение оцениваемого показателя безопасности, в реальности могущие изменяться в определенных пределах) и упрощающие приближения (касающиеся упрощения детальной конструкции ТУК и размещенных в ТУК ЯДМ) должны приводить к наиболее неблагоприятному значению оцениваемого показателя безопасности. Но конкретные приближения и допущения, принимаемые в математических

моделях упаковки «ТУК + ЯДМ» для оценки показателей ядерной и радиационной безопасности, как правило, существенно различаются.

При создании расчетной модели упаковки «ТУК + ЯДМ» для анализа ядерной безопасности особое внимание уделяется детальному описанию конструкции ОТВС, ЯДМ, конструктивных элементов чехла для ОТВС, в то время как корпус ТУК допускается задавать существенно менее детально. Все упрощающие приближения и расчетные допущения этой расчетной модели при задании нуклидного состава, поглощающих нейтроны элементов, начального обогащения, массы топлива, длины и плотности топливного столба должны приводить к максимально возможному значению $K_{эфф}$, тем самым обеспечивая консервативный подход. При создании расчетной модели для оценки параметров радиационной безопасности консервативный подход, наоборот, заключается в максимально детальном описании реальной конструкции корпуса ТУК, особенно тех ее технологических элементов, которые являются возможными каналами «прострелов» гамма и нейтронного излучения. При этом все упрощения реальной конструкции упаковки «ТУК + ЯДМ» должны приводить к завышению уровней мощности дозы за защитой ТУК, в точках, в которых согласно [1], нормируются максимальные значения мощности дозы.

Оценка параметров ядерной безопасности

С целью оценки значений $K_{эфф}$ авторами разработана расчетная модель ТУК-153, загруженного 18 ОТВС. Расчетная модель подготовлена с использованием функционального модуля KENO [6], входящего в состав ПС SCALE 6 [5], реализующего метод Монте-Карло и позволяющего моделировать любые по сложности системы. Расчеты параметров ядерной безопасности проводились с использованием библиотеки непрерывных зависимостей сечений взаимодействия нейтронов от энергии, основанной на файлах оцененных ядерных данных ENDF/B-VII [7]. Все принятые при

разработке расчетной модели упрощения реальной конструкции упаковочного комплекта, такие, как отсутствие дистанционирующих решеток, использование топлива с максимальным начальным обогащением и т.д., являются консервативными и приводят к завышению расчетного значения $K_{эфф}$.

С использованием созданной расчетной модели выполнены оценки значения $K_{эфф}$ в нормальных условиях транспортирования ОЯТ и при авариях, связанных с заполнением полости ТУК-153 пароводяной смесью различной плотности.

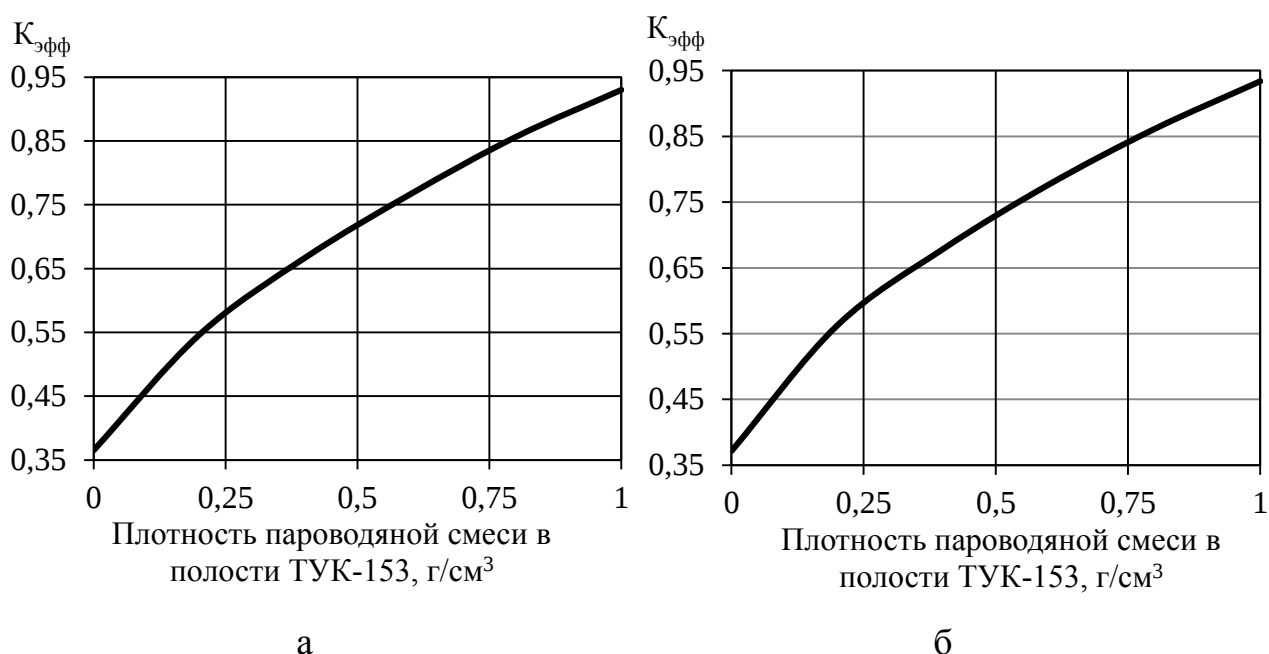


Рис.1. Графики зависимости $K_{эфф}$ от плотности пароводяной смеси в ТУК-153: а – для единичной упаковки; б – для неограниченной группы упаковок

Согласно полученным результатам расчета, при нормальных условиях эксплуатации значение $K_{эфф}$ составляет 0,365 для отдельной упаковки и 0,371 для группы из любого количества упаковок. Зависимости значения $K_{эфф}$ единичной упаковки и группы упаковок от плотности пароводяной смеси в полости контейнера приведены на рисунке 1.

Полученные результаты подтверждают обеспечение ядерной безопасности при транспортировании ОТВС типа ТВС-2М с начальным обогащением до 4,925 % в ТУК-153 как при нормальных условиях транспортирования, так и при авариях, даже в приближении свежего топлива. В связи с этим отсутствует необходимость использования подхода «Burn-up-credit» [8].

Оценка параметров радиационной безопасности

Для оценки параметров радиационной безопасности подготовлены расчетные модели с использованием функционального модуля MAVRIC [9], входящего в состав ПК SCALE 6[5]. Расчеты проводились с использованием библиотеки групповых сечений взаимодействия нейтронов и фотонов от энергии, основанной на файлах оцененных ядерных данных ENDF/B-VII [7]. Оценка источника ионизирующего излучения выполнена с помощью входящих в состав ПК SCALE 6 управляющих модулей TRITON [10] и ORIGEN-ARP [11], предназначенных для моделирования процесса выгорания ядерного топлива в реакторе и определения нуклидного состава ОЯТ.

На рисунке 2 представлена расчетная модель ТУК-153, загруженного 18 ОТВС типа ТВС-2М, учитывающая все конструктивные и материальные особенности биологической защиты ТУК и ТВС и предназначенная для оценки уровней мощности дозы за защитой ТУК при нормальных условиях транспортирования и при максимальной проектной аварии – нахождение в течении 0,5 часа в зоне пожара с температурой $t = 800$ °С. В расчетах принято, что поверхность транспортного средства совпадает с поверхностью ТУК, что является консервативным приближением. Так же стоит отметить, что для расчетов все 18 ОТВС были приняты одинаковыми и совпадающими с ОТВС характеризующейся источником излучения максимальной интенсивности.

Все принятые при разработке расчетной модели упрощения реальной конструкции упаковочного комплекта, такие, как конструкционные допуски, а также отсутствие некоторых конструкционных элементов и грузовых цапф, являются консервативными и приводят к завышению мощности дозы за защитой ТУК.

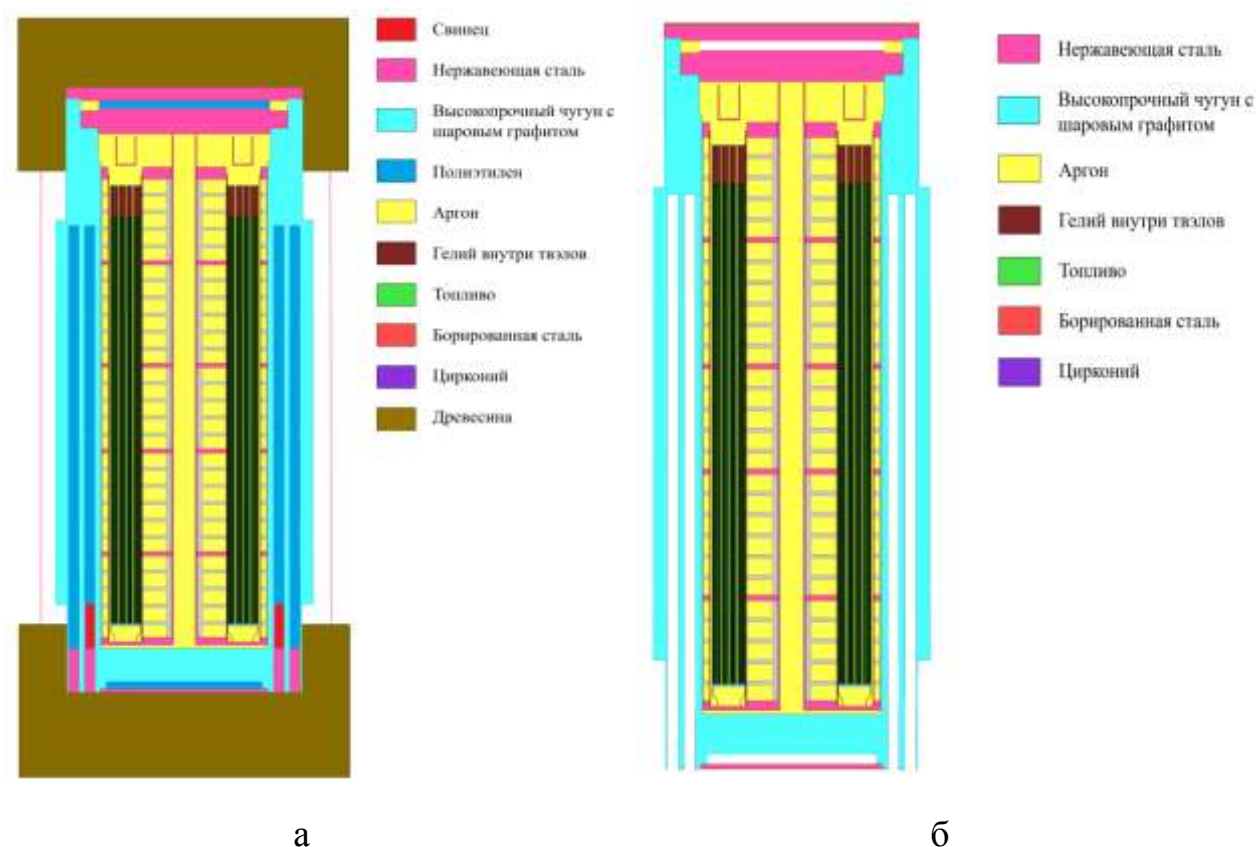


Рис. 2. Расчетные модели ТУК-153, загруженного 18 ОТВС, предназначенные для оценки параметров радиационной безопасности:

а - при нормальных условиях; б – при авариях

Результаты расчетов мощности дозы за защитой ТУК-153 представлены на рисунках 3 - 5. В таблице 1 приведены максимальные значения мощности дозы за защитой ТУК-153 при нормальных условиях и при авариях, а также указано ограничение по НП-053-04 [1] для соответствующих точек детектирования.

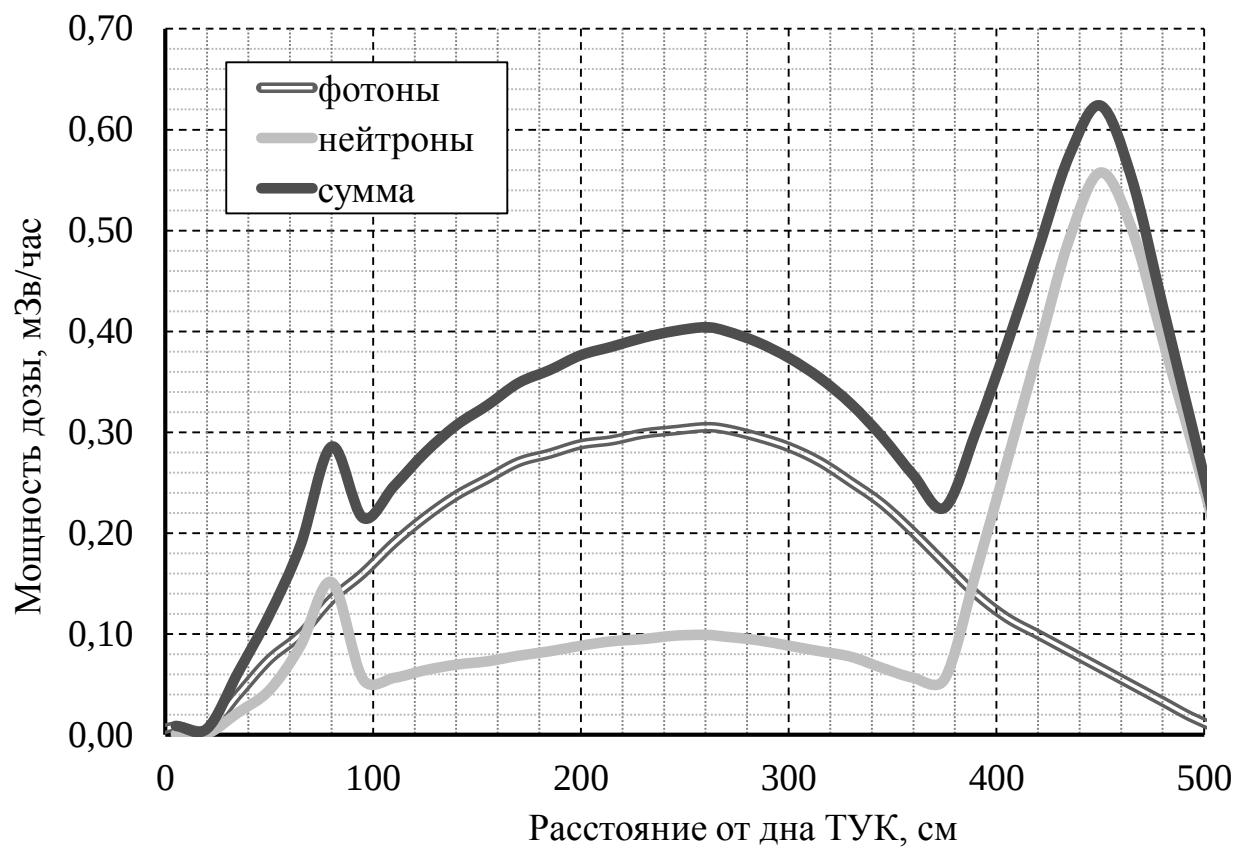


Рис.3. Распределение мощности дозы на боковой поверхности ТУК-153

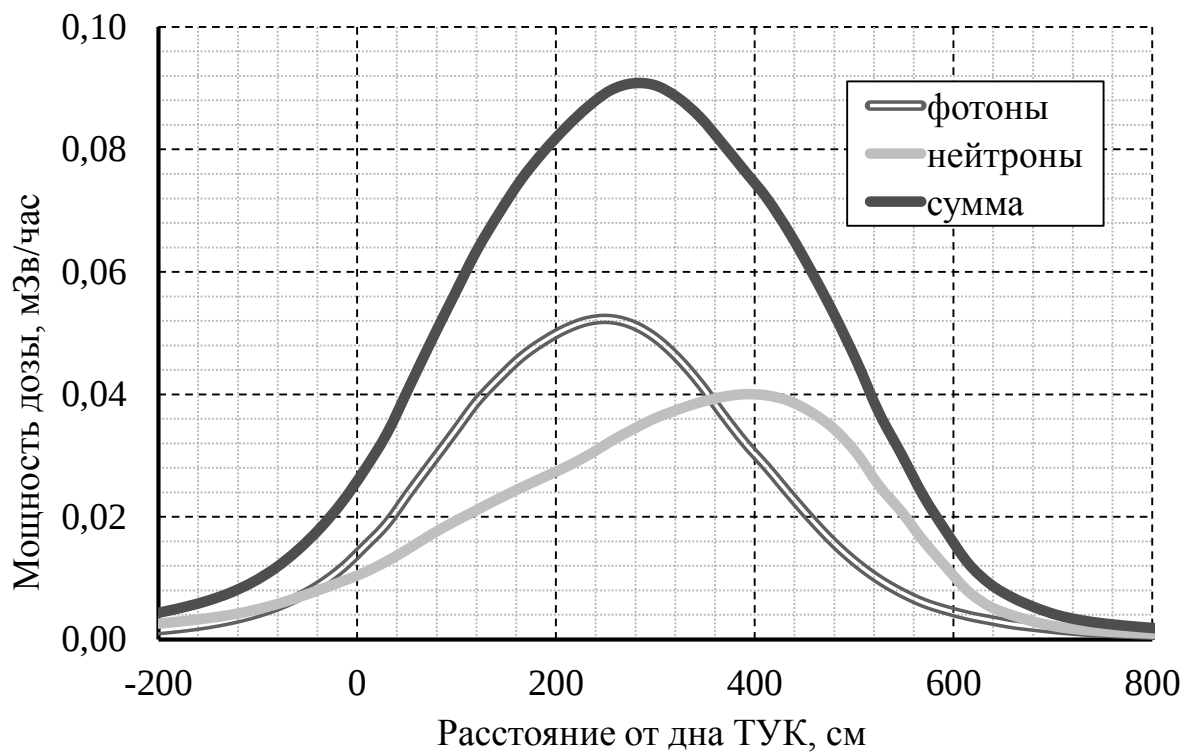


Рис.4. Распределение мощности дозы в 2 м от боковой поверхности транспортного средства

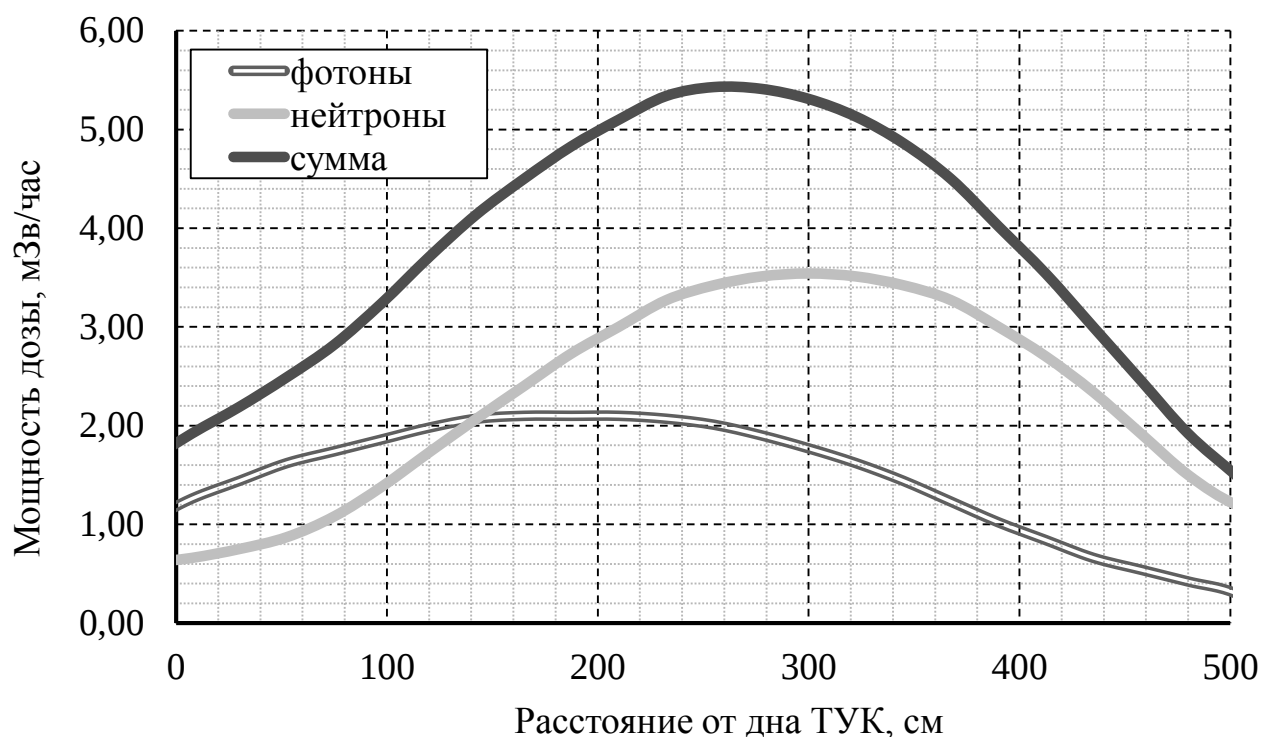


Рис.5. Распределение мощности дозы в 1 м от боковой поверхности ТУК-153 при авариях

Таблица 1

Максимальные значения мощности дозы за защитой ТУК-153 при нормальных условиях и при авариях

Область детектирования	Условия эксплуатации	Значения мощности дозы, мЗв/ч	Ограничения по НП-053-04 [1]
Поверхность ТУК	Нормальные условия	0,625	2
2 метра от поверхности транспортного средства		0,091	0,1
1 метр от поверхности транспортного средства	Аварийные условия	5,4	10

Как видно из таблицы 1, рассчитанные с учетом всех консервативных приближений максимальные значения мощности дозы на поверхности ТУК при нормальных условиях и в 1 метре от поверхности транспортного средства при аварии составляют 0,625 мЗв/час и 5,4 мЗв/час соответственно. Полученные значения удовлетворяют ограничениям НП-053-04 [1] с большим

запасом. Однако полученное значение мощности дозы в 2 метрах от поверхности транспортного средства составляет 0,091 мЗв/час, что всего на 10 % меньше предельно допустимого по НП-053-04 значения в 0,1 мЗв/час.

В связи с тем, что представленные выше результаты приведены без учета погрешности расчета, для обоснования непревышения значением мощности дозы установленного критерием ограничения в 2 метрах от поверхности транспортного средства, целесообразно выполнить экспериментальное исследование с целью консервативного, но при этом не избыточного учета погрешности.

Заключение

Расчетный анализ аспектов ядерной и радиационной безопасности при транспортировании ОЯТ в ТУК-153 показал, что ядерная безопасность ТУК-153, загруженного 18 ОТВС, обеспечивается даже в приближении свежего топлива. Радиационная безопасность при эксплуатации ТУК-153 также в целом обеспечивается. Наибольшую опасность представляет мощность дозы в двух метрах от поверхности транспортного средства, при котором расчетные значения мощности дозы приближаются к предельно допустимым значениям по НП-053-04[1]. В связи с этим целесообразным является выполнение дополнительного экспериментального исследования погрешности определения мощности дозы за защитой ТУК-153.

Литература

1. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов: НП-053-04: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 04.10.2004 № 5.- М.: Ростехнадзор, 2004.
2. Строганов А.А., Курындина А.В., Аникин А.Ю. Анализ соответствия российской и международной нормативной базы по регулированию безопасности при транспортировании радиоактивных материалов и

- отработавшего ядерного топлива // Москва: Ядерная и радиационная безопасность.- 2011. - № 3(61). – С. 23-25.
3. Программа MCU-RFFI/A. Паспорт аттестации ПС № 61 от 17.10.1996.
 4. MCNP4C: Monte Carlo N-particle Transport Code System. - RSICC Computer Code Collection, 2000.
 5. SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, Vols. I, II, and III. — Radiation Safety Information Computational Center at ORNL, 2000. — ORNL/NUREG/CSD-2R6.
 6. Goluoglu S., Hollenbach D.F., Petrie L.M. CSAS6: Control module for enhanced criticality safety analysis with KENO-VI/ Goluoglu S.- ORNL/TM-2005/39. - vol. I,- 2009.
 7. Victoria McLane. ENDF-201 ENDF/B-VI Summary Documentation Supplement I — Upton: National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, 1996.
 8. Аникин А.Ю., Курындин А.В., Курындина Л.А., Строганов А.А. Мировой опыт использования подходов, учитывающих выгорание ядерного топлива при обосновании ядерной безопасности обращения с ОЯТ // Ядерная и радиационная безопасность. – 2009. – № 3(53). – С. 38-43. – ISSN 2218-8665.
 9. Peplow D.E. MAVRIC: MONACO with automatic variance reduction using importance calculations/ D.E. Peplow.- ORNL/TM-2005/39.- vol. I.- 2009.
 10. DeHart M.D. TRITON: A two-dimensional transport and depletion module for charecterization of spent nuclear fuel: ORNL/TM-2005/39, version 6, Vol.I, Sect T1. - Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 2009.
 11. Gauld I.C., Bowman S.M., Horwedel J.E. ORIGEN-ARP: Automatic Rapid Processing For Spent Fuel Depletion, Decay and Source Term Analysis: ORNL/TM-2005/39, version 6, Vol. I, Sect D1. - Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 2009.

Ссылка на статью...

Источник (Архив XII Международной
конференции):<http://teoretika.com/arhiv.php>